

코일센서를 이용한 차량검지기 적용성에 대한 연구

Study on Applicability of the Vehicle Detection Using a Coil Sensor

이 상 오* 이 철 기** 윤 일 수** 김 남 선*** 이 용 주****
(Sang-O Lee) (Choul-Ki Lee) (Ilsoo Yun) (Nam-Sun Kim) (Yong-Ju Lee)

* (Graduate School of Transportation · Intelligent Transport Systems, Ajou University)

** (Department of Transportation System Engineering, Ajou University)

*** (Graduate School of Transportation · Intelligent Transport Systems, Ajou University)

****(Department of Civil and Transportation Engineering, Ajou University)

·Corresponding author : Yong-Ju Lee(Ajou University) , E-mail atfc4@ajou.ac.kr

요 약

본 연구는 코일센서를 이용한 차량검지기의 적용성을 검증하고자 한다. 이를 위하여 코일센서를 이용하여 차량검지기의 발진회로부, 데이터 수집부, 데이터 모니터링 및 저장부로 구성된 실험환경을 구성하였다. 실험환경에서 얻은 코일센서의 주파수를 분석한 결과, 코일센서를 이용한 차량검지기의 주파수가 안정적으로 산출되는 것을 확인하였다. 또한 시공 편의성을 확인하기 위하여 실제 도로에 기존 루프검지기와 코일센서를 이용한 차량검지기를 적용한 후 커팅 면적 및 재료 소요량, 평균 작업시간을 측정하여 시공 용이성을 비교하였다. 비교 결과, 코일센서를 이용할 경우 시공 시간의 개선이 가능하며, 도로 커팅 면적을 줄일 수 있어 기존의 루프검지기 설치 방식보다 코일센서를 이용한 차량검지기 시공 방식이 더 효율적인 것으로 나타났다.

핵심어 : 루프검지기, 코일센서, 차량검지기, ITS, 적용성

ABSTRACT

This study was intended to evaluate the feasibility of the vehicle detector using a coil sensor. For the evaluation, the research team built a test environment for the detector consisting of a oscillation circuit, data collecting circuit, data monitoring and saving circuit, etc. As the result of the frequency analysis of the detector from the test environment, it was verified for the detector using a coil sensor to generate stable frequencies. In addition, the ease of construction and management was tested by comparing the size of cutting areas, consumption of installation materials, and installation time for a traditional loop detector and the detector using a coil sensor. As a result, the installation of the detector using a coil sensor requires less size of cutting areas, consumption of installation materials, and installation time.

Key words : Loop Detector, Coil Sensor, Vehicle Detection, ITS, Applicability

* 주저자 : 아주대학교 교통·ITS대학원 석사

** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

*** 공저자 : 아주대학교 교통·ITS대학원 겸임교수

**** 공저자 및 교신저자 : 아주대학교 교통연구센터 전임연구원

† Received 10 March 2015; reviewed 14 April 2015; Accepted 25 April 2015

I. 서론

지능형교통시스템(Intelligent Transport Systems, ITS) 분야에서 루프검지기, 영상검지기, 레이더검지기, 지자기검지기 등의 차량 검지 기술이 널리 적용되고 있으나 차량검지기 설치와 유지관리에 필요한 비용과 노력이 과다하거나 수집된 정보의 신뢰성이 낮아 ITS 적용 효과를 극대화하는 데 장애 요인으로 작용하고 있다.

특히, 매설식 차량검지 방법 중 하나로 널리 사용되고 있는 루프검지기는 포장면을 절삭하기 때문에 도로 파손의 원인 중 하나가 될 수 있으며, 검지기 시공 시 차량을 통제하여야 하기 때문에 교통사고 및 교통혼잡의 원인으로 작용하고 있어, 해외에서는 이에 대한 해결책으로 점 형태로 설치되어 도로가 파손되지 않는 장점을 가지고 있는 코일센서를 이용한 차량검지에 대한 연구가 이루어지고 있다[1].

따라서 본 연구에서는 기존의 루프검지기를 대체할 수 있는 코일센서를 이용한 차량검지기를 개발하였다. 개발된 코일센서 기반 차량검지기의 적용성을 검증하기 위하여 실험환경을 구성하여 실험하였다.

또한 시공 편의성을 확인하기 위하여 실제 도로에 기존 루프검지기와 코일센서를 이용한 차량검지기를 적용한 후 커팅 면적 및 재료 소요량, 평균 작업시간을 측정하여 시공 용이성을 비교하였다.

II. 매설식 차량검지 방법 고찰 및 시사점 도출

1. 루프검지기

루프검지기는 도로 위에 매설된 루프코일(loop coil)의 검지영역을 차량이 통과할 때 인덕턴스(inductance)의 변화를 검지하는 방식으로 루프코일, 도입선, 도입케이블, 검지센서 장치로 구성된다[1].

루프코일에 형성된 자기장(magnetic field) 위로 차량이 통과하는 경우 차량과 루프코일 사이에는 자속

(magnetic flux)의 변화가 생기고, 루프코일의 자장과 유도자장은 상호 작용하여 자속의 변화를 가져오고, 차량에는 자속의 변화에 따라 반대방향의 자기장이 형성된다. 이 자기장은 기존 루프검지기의 자기장과 결합하여 인덕턴스의 변화를 가져온다.

$$\Delta LL = LNV - NV \quad (1)$$

여기서, ΔLL = 인덕턴스의 변화량

LNV = 차량이 없을 때 인덕턴스 값

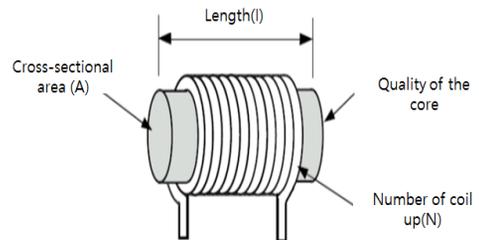
NV = 차량통과 시 인덕턴스 값

<식 1>과 같이 루프검지기는 인덕턴스의 변화량(ΔLL)으로 차량의 존재 유무를 검지한다[2, 3].

루프검지기는 타 검지기에 비해 설치비가 저렴하고 날씨 또는 환경조건에 영향을 받지 않아 정확한 차량의 검지가 가능하여 검지정보의 신뢰성이 우수한 장점이 있지만, 설치 공사 시 교통 흐름을 방해하고 도로 파손에 대한 유지보수 비용이 과다하게 요구되는 단점이 있다[4].

2. 코일센서

코일센서(coil sensor)는 적의 잠수함 및 전차를 탐지하기 위해 군사용으로 이용되던 장거리 탐지용 서치코일센서(search coil sensor)를 응용 개발한 것으로 유도자기장의 변화를 이용한 자기센서의 한 가지로 페리데이의 유도법칙을 이용하여 만들어졌다[5]. 코일센서의 일반적인 구성은 <그림 1>과 같다[6].

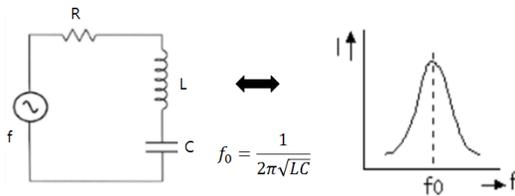


<그림 1> 코일센서의 구성

<Fig. 1> Composition of the Coil Sensor

장거리용 코일센서는 코일에 전기적 신호를 인가하지 않고 유도기전력(induced electromotive force)을 측정하고 물체가 움직일 때만 감지하며 시간에 대한 자기장의 변화량을 산출한다.

자기장의 주파수가 증가하면 코일센서를 구성하는 코일 내부 및 코일 간 구성 성분들에 영향이 나타나기 시작하며 그 영향은 <그림 2>과 같이 저항 성분(R), 인덕턴스(L), 커패시턴스(C) 성분을 포함하는 등가 모델로 나타낼 수 있다[5]. 코일을 사용하여 자기장을 형성하는 회로에서 인덕턴스는 코일의 회전 수 등에 의하여 결정되고, 커패시턴스는 코일 사이의 간격, 면적 등에 의하여 결정된다[7].



<그림 2> 코일센서 등가모델과 공진주파수(f_0)관계도
<Fig. 2> Coil Sensor Equivalent Model and Resonant Frequency

UC 버클리 대학의 Ding *et al.*은 도로의 통행량 분석을 위해 자기저항센서를 도로면에 설치하여 코일센서와 비교하였으며 주차장에서 주차면 점유상태와 주행 차량의 속도 측정, 차량의 종류 식별까지 가능함을 보였다[8].

Tong and Li는 코일센서의 장점을 정확한 통행량의 분석이 가능하다는데 있다고 밝혔다[9]. Tong and Li는 연구에서 차량 종류의 식별을 보다 정확히 하기 위해 최근에 RBF 신경망 알고리즘(RBF neural network algorithm)을 적용하는 연구가 진행하였다. 하지만 루프검지기와 마찬가지로 코일센서를 이용한 차량검지기 또한 설치 공사 시 교통의 흐름을 방해하고, 과적차량에 의해 파손될 위험이 있으며 포장면의 상태에 영향을 받는다고 지적하였다[9].

해외에서는 코일센서를 이용한 차량검지기 개발이 활발히 진행된 반면에 국내에서는 관련 연구가 거의 진행되지 않은 것으로 조사되었다.

3. 시사점 도출 및 본 연구의 적용 방안

기존 코일센서는 부피가 크고 무거운 단점이 있어 검지 능력이 우수함에도 불구하고 기술적 한계로 개발이 이루어지지 못하였다. 본 연구에서는 특수 열처리 기법과 초소형화를 통해 검지강도가 향상된 코어를 제작하였다.

루프검지기는 금속의 면적에 영향을 받기 때문에 교량에 설치가 불가하나 코일센서는 차량의 자기장이 교량의 자기장보다 상대적으로 크기 때문에 교량에 설치가 가능하다. 또한 도로에 점 형태로 설치되어 도로가 파손되지 않으며 과적 차량으로 인한 센서의 파손 위험이 거의 없다.

<표 1>의 루프검지기와 코일센서의 비교에서 나타나는 것처럼 기존의 루프검지기에 비해 크기, 인터페이스, 검지 강도 등이 향상된 코일센서를 이용하면 설치, 유지보수, 차량의 검지 등의 측면에서 효율적인 효과를 기대할 수 있다.

<표 1> 루프검지기와 코일센서의 비교
<Table 1> Comparison of Loop Detector and Coil Sensor

Items	Loop Detector	Coil Sensor
Used Materials	Wire	Coil
Size (Shape)	1.8m X 1.8m (Face)	2.5cm, Diameter (Spot)
Search Quantity	Conductivity Change of Inductance	Magnetic Flux Density Change of Inductance
Output Type	Frequency	Frequency
Interface Circuits	A Little Complicated (Coupling Transformer)	Simple (Small signal, Low Power)
Crosstalk	Frequency Change	Unrelated
Temperature Compensation	by S/W	Not Required
Lane Interference	Little	None
Algorithm	Proved	Similar Loop
Communication	X	X
Install Location	Restrictiveness	Irrelevance
Distance of Sensor	Regular Intervals	Irrelevance
Sensitivity	Irrelevant to Gauss	$10^{-15} \sim 10^9$ Gauss

Ⅲ. 코일센서를 이용한 실험환경 구성

1. 코일센서를 이용한 검지모듈 제작

1) 코아 제작

코일센서를 이용한 차량검지기의 적합성을 평가하기 위해서는 주파수 분석 등을 통해 제작된 검지기의 정확성을 확인할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 코일센서를 이용한 차량검지기의 정확성을 확인코자 실험환경을 구성하였다.

실험환경의 구성품 중에 하나인 코일센서를 이용한 검지모듈의 제작 상세는 다음과 같고, 제작된 코아의 모양은 <그림 3>과 같다.

- 코아의 형상 : 직사각형
- 코아의 양 : 186mm²
- 코일의 두께 : 0.12mm
- 코일 회전수 : 70turns



<그림 3> 코아의 모습
<Fig. 3> Shape of Core

2) 코일센서 검지부 제작

(1) 코일센서 인터페이스부

검지부는 코일센서 인터페이스부로 써치 코일방식 단축 센서를 사용하였으며 형상은 <그림 4>에 사양은 <표 2>에 제시하였다.



<그림 4> 코일센서 인터페이스부의 형상
<Fig. 4> Shape of Coil Sensor Interface Part

<표 2> 인터페이스부 사양
<Table 2> Interface Part Specifications

Items	Description
Interface	Search Coil Method
Sensor Input	2 Channels
Use frequency	120~500KHz
Type	Detector Mounted Modules
Use Voltage	+5V DC
Operating Temperature	-34~+74℃
Relative Humidity	+4.4~+44.0℃(Max 95%)
Board Size	233.35×160mm
Board Material	NEMA(RR-4) Glass Epoxy

(2) 검지부 모듈

검지부 모듈의 형상 및 블록 다이어그램은 <그림 5>, <그림 6>에 사양은 <표 3>에 제시하였다.



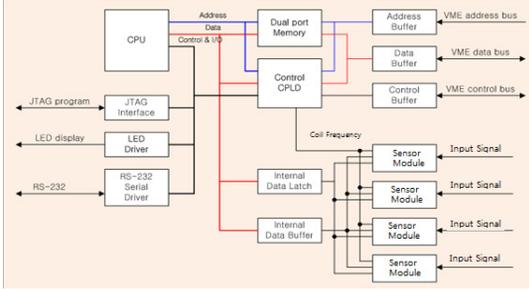
<그림 5> 검지부 모듈의 형상
<Fig. 5> Shape of Detector Module

<표 3> 검지부 모듈 사양
<Table 3> Detector Module Specifications

Items	Description
Standard	6U VME Standard
Interface	Standard I/O Interface
Compatibility	Loop Detector Board Compatibility
Sensor Input	4/8 Channel
Autocalibration	embedded
Use Voltage	+5V DC, ±12V DC

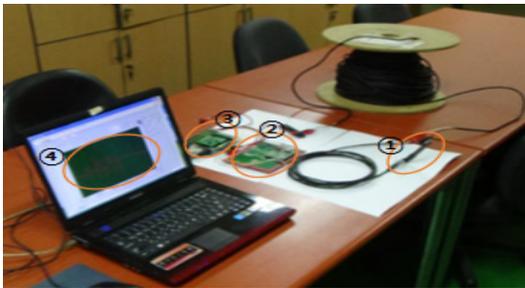
2. 실험 환경

코일센서의 검증을 위하여 <그림 7>의 ① 코일센서, ② 발진회로부, ③ 데이터 수집부, ④ 데이터 모니터링 및 저장부를 연결하여 실험환경을 구성하였으며, 검지 환경의 데이터의 흐름은 ‘코일센서 →



<그림 6> 검지부 모듈 블록다이어그램
<Fig. 6> Block Diagram of Detector Module

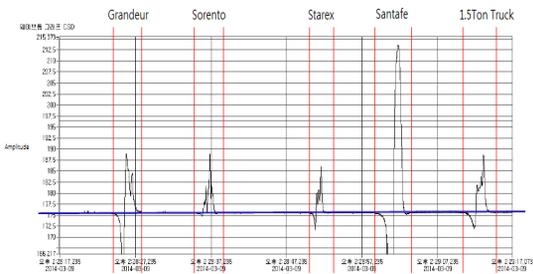
발전회로부 → 데이터 수집부 → 데이터 모니터링 부 → 데이터 저장부 순으로 이루어진다.



<그림 7> 검지 환경 구성
<Fig. 7> Detector Module Environments

3. 실험 내용

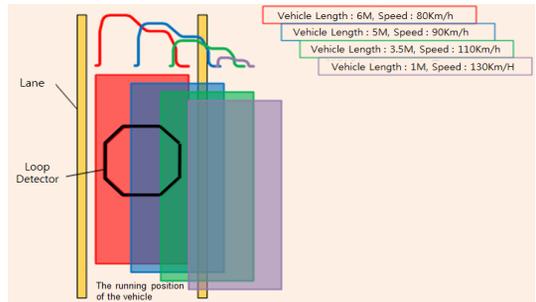
<그림 8>은 루프검지기의 차량별 주파수 특성을 나타낸 것으로 기준주파수는 175.6KHz(±200Hz)이며 차량의 종류에 따라 주파수의 특성이 다르게 나타났다.



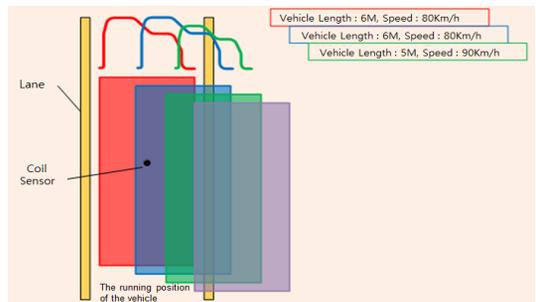
<그림 8> 차량별 주파수 특성
<Fig. 8> Frequency-dependent characteristic of the vehicle

<그림 9>와 <그림 10>에서 루프검지기와 코일센서의 주행위치에 따른 주파수의 특성을 비교한 결과 루프검지기는 검지 영역에 걸쳐진 차량에 대해서 모두 반응하였다. 따라서 차선에 치우친 형태의 주행에서 정확한 데이터가 생성되기 어려우며 차량의 크기에 영향을 받는 것으로 나타났다.

반면 코일센서는 검지 영역을 벗어난 차량에는 반응하지 않아 루프검지기에 비해 검지 정확성이 높은 것으로 나타났다.



<그림 9> 주행위치에 따른 주파수 특성(루프검지기)
<Fig. 9> Frequency characteristics according to the running position(Loop Detector)



<그림 10> 주행위치에 따른 주파수 특성(코일센서)
<Fig. 10> Frequency characteristics according to the running position(Coil Sensor)

<그림 11>은 그랜저 차량이 검지기 위에 진입했을 때(A), 멈췄을 때(B), 시동을 켜올 때(C), 시동을 걸었을 때(D), 검지기 위를 빠져나갔을 때(E)의 주파수의 변화를 나타낸 것으로, 차량의 상태에 따라 주파수의 값, 변화량, 진폭이 다를 수 있다.

본 실험에서는 차량의 상태에 따라 (A)~(E)의 5

가지 경우로 나누어 실험을 실시하여 주파수의 변화를 분석하였다.



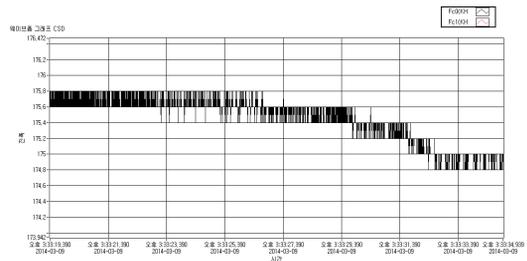
〈그림 11〉 실험 내용별 주파수 특성
 〈Fig. 11〉 Characteristics of Frequencies by Test Scenarios

IV. 실험환경을 이용한 분석 결과

1. 주파수 분석

1) 차량 진입

차량 진입 시 기준 주파수 175.6KHz 대비 주파수의 진폭 변화량은 <그림 12>에서 보인 바와 같이 $\pm 200\text{Hz}$ 을 나타냈다.

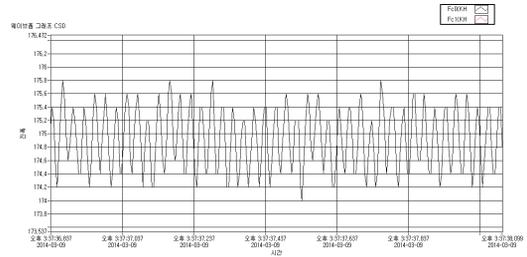


〈그림 12〉 차량 진입 시 진폭 변화량(A)
 〈Fig 12〉 Range of Frequency Changes in the Case of Ingression(A)

2) 차량 정지

차량이 정지한 상태에서 시동이 켜져 있는 경우 주기적인 주파수의 변화를 보였으며, 그랜저 차량의 RPM이 2000rpm일 때, 주파수의 진폭은 <그림

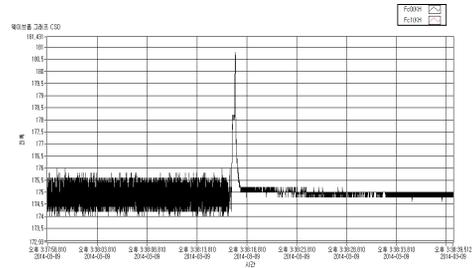
13>에서 보인 바와 같이 약 1KHz로 차량이 없을 때에 비해 5배의 증가를 보였다.



〈그림 13〉 차량 정지시 진폭 변화량(B)
 〈Fig. 13〉 Range of Frequency Changes in the Case of Vehicle Stop(B)

3) 차량 정지 → 시동 Off

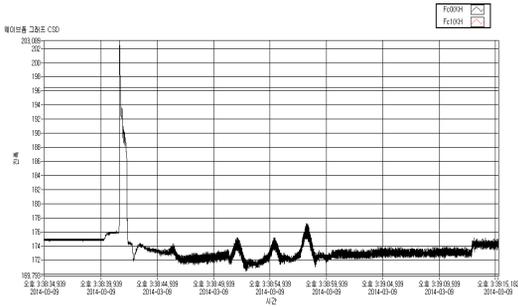
차량이 정지한 상태에서 시동 Off시 주파수는 174.8KHz로 기준 주파수인 175.6KHz와 비슷하였으며 주파수의 진폭은 <그림 14>에서 보인 바와 같이 약 1KHz의 변화를 보이다 다시 $\pm 200\text{Hz}$ 의 변화를 보였다.



〈그림 14〉 차량 정지 → 시동 Off 시 진폭변화량(C)
 〈Fig. 14〉 Range of Frequency Changes in the Case of Stop → Turn off Starting(C)

4) 시동 Off → 시동 On (재시동)

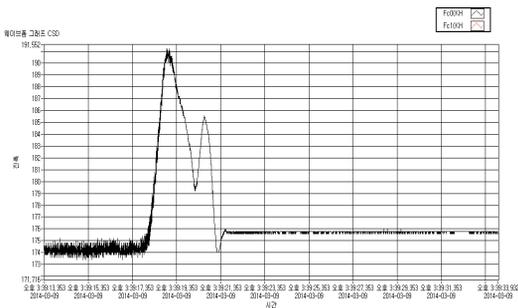
차량의 시동이 꺼진 상태에서 재시동시 주파수는 <그림 15>에서 보인 바와 같이 174KHz대에서 약 1KHz의 변화율을 보이다 다시 $\pm 200\text{Hz}$ 의 변화를 보였다.



<그림 15> 시동 Off → 시동 On 시 진폭 변화량(D)
<Fig. 15> Range of Frequency Changes in the Case of Turn-off Starting → Starting(D)

5) 차량 진출

차량 진출 시 주파수는 <그림 16>에서 보인 바와 같이 191KHz까지 증가하여 피크 파형을 보이다 175.6KHz에서 안정화 되고, 이후 ±200Hz의 진폭 변화를 보였다.



<그림 16> 차량 진출 시 진폭변화량(E)
<Fig. 16> Range of Frequency Changes in the Case of Going-out(E)

6) 주파수 및 진폭변화량 분석 결과

실험을 통해 코일센서의 주파수를 분석한 결과 차량 진입(그림 12), 차량 정지(그림 13), 차량 정지 → 시동 Off(그림 14), 시동 Off → 시동 On(그림 15), 차량 진출(그림 16)의 차량의 상태별로 주파수 특성이 뚜렷이 나타나고 결함으로 생각할만한 주파수는 나타나지 않았다.

기존 루프검지기에서 얻을 수 있었던 주파수의 특성이 코일센서에서도 잘 나타나므로 기존의 루프검지기를 대체하여 사용 가능하다는 것이 입증되었다.

2. 설치 용이성 분석

이를 바탕으로 루프검지기 시공현장 5곳과 코일센서 시공현장 5곳에서 3인 1조 작업으로 1HEAD 당 커팅면적 및 재료 소요량(표 4)과 평균 작업 소요시간(표 5)을 측정하였으며 코일센서를 이용한 현장시공 사진은 <그림 17>과 같다.

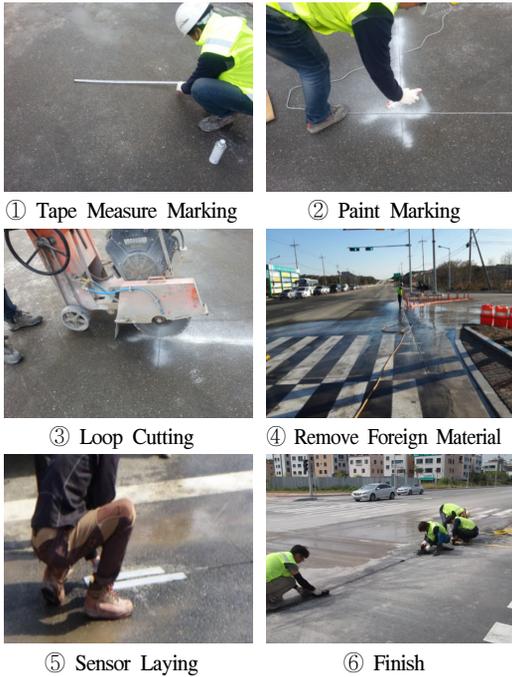
루프검지기와 코일센서의 시공은 ‘마킹→커팅→이물질 제거→케이블 매설→코킹’의 동일한 순서로 이루어지나, 커팅면적 및 재료소요량, 평균 작업 소요시간 모두 코일센서가 모든 비교항목에서 적은 양이 소요되어 루프검지기에 비해 경제적이다.

<표 4> 시공방식별 커팅면적 및 재료소요량 비교
<Table 4> Comparison of Size of Cutting Areas and Requirement of Materials

Items	Road Cutting Length	Road Cutting Area	Cable Length	Finishing
Loop	6.88 m	5,572.80cm ²	27.52 m	11.95 Kg
	0%	0%	0%	0%
Coil	0.8 m	648 cm ²	1.6 m	1.418 Kg
	-88.37%	-88.37%	-94.19%	-88.13%

<표 5> 평균 작업 소요시간 비교
<Table 5> Comparison of Installation Time

Division	Average working time		Time Diff
	Loop	Coil	
Tape Measure Marking	2Min 30s	35s	-1Min 55s
Paint Marking	2Min	40s	-1Min 20s
Loop Cutting	15Min	3Min	-12Min
Remove Foreign Material	12Min	5Min	-7Min
Sensor Laying	2Min 30s	1Min	-1Min 30s
Finish	25Min	8Min	-17Min
Taking Time	50Min	18Min 15s	-31Min 45s



〈그림 17〉 코일센서를 이용한 현장 시공
 〈Fig. 17〉 Road Installation using Coil Sensor

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 코일센서와 발진회로부, 데이터 수집부, 데이터 모니터링 및 저장부를 연결하여 실험환경을 구성하여 차량 검지의 정확성을 검증하였다. ① 차량 진입, ② 차량 정지, ③ 차량정지→시동 Off, ④ 시동 Off→시동 On, ⑤ 차량 진출의 5가지 경우로 나누어 코일센서의 주파수를 분석한 결과 차량의 상태별로 주파수의 특징이 뚜렷이 나타나고 주파수의 왜곡현상이 나타나지 않아 코일센서의 루프검지기의 대체 가능성을 확인하였다.

또한 실제 도로의 현장에서 시공방식별 커팅면적 및 재료소요량, 평균작업시간을 측정하여 비교한 결과 코일센서를 이용해 현장 시공시 시공시간의 개선으로 교통체증 요소 절감, 사고유발 요소 감소 효과의 기대가 가능하며, 도로 커팅 면적을 줄여 도로 파손의 원인이 감소되고, 도로의 유지보수 비용이 절감되어 기존의 루프방식보다 코일센서를 이

용한 시공방식이 더 효율적임을 확인하였다.

하지만, 본 연구는 코일센서를 이용한 차량검지기 적용성을 실내 실험환경을 통해서 확인하는 것으로 제한되어 있다. 실제로 코일센서를 이용한 차량검지기가 실무적으로 활용되기 위해서는 가장 중요한 것이 기존 루프검지기와 성능을 비교하는 것이다. 즉, 기존 루프검지기의 대표적인 수집정보인 교통량, 지점속도, 점유율을 코일센서를 이용한 차량검지기를 통해서 추출할 필요가 있다. 이를 위해서는 향후 유지보수 상태가 양호한 기존 루프검지기가 설치된 지점에 코일센서를 이용한 차량검지기를 설치한 후 이를 비교할 필요가 있다.

또한 본 연구에서는 코일센서를 이용한 차량검지기 개발이 초기 단계에 머물고 있다. 현재는 실험실 환경에서 차량검지기에서 산출되는 주파수가 검지기로서 적절한 지에 대한 실험이 완료된 상태이며, 속도 및 차종구분과 관련된 제어기 알고리즘은 개발이 완료되지 않았다. 따라서 속도와 차종구분에 대해서는 향후 알고리즘을 보완 등을 통하여 정확한 속도 및 차종 등을 구분할 수 있는 연구가 추가될 필요가 있으며 차량 검지의 새로운 대안기술로 교통량 조사장비, 무인 교통단속 장비로 활용이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 정부(교육 과학 기술부)의 재원으로 원주 연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구(2012R1A1A1044620, 2010-0028693)입니다.

REFERENCES

- [1] Y. T. Oh, N. S. Kim, S. H. Kim, K. H. Song, "A Study of Relative Feeder-Cable Length and Vehicle Detection Length of Loop Detector", KCSE, vol. 22, pp.85-94, 2004
- [2] R. Boll and K. J. Overshott, Sensors : "A Comprehensive Survey", VCH, vol. 5, pp.205-253, 1989

- [3] C. M. Day, T. M. Brennan, M. L. Harding, H. Premachandra, A. Jacobs, D. M. Bullock, J. V. Krogmeier, and J. R. Sturdevant, "Three-Dimensional Mapping of Inductive Loop Detector Sensitivity with Field Measurement", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2128, pp.35-47. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D. C., 2009 (DOI: 10.3141/2128-04)
- [4] K. Jung, J. K. Jeong, I. S. Kim, "Radar vehicle detector for the replacement of the conventional loop detector", *J. KIEES*, vol. 11, no. 8, pp.1346-1356, 2000
- [5] H. S. Lim, I. J. Kim, "Empirical Characterization of an Air-cored Induction Coil Sensor using Constructional Parameters, *IEIE*, vol. 47, pp.76-82 (2010-47SC-2-1)
- [6] D. R. Song, "The Principles and Applications of Magnetic Sens", *Journal of the Korean Magnetics Society*, Vol. 7, no. 6, pp.334-339, 1997
- [7] Y. S. Ahn, D. S. Kil, S. K. Park, "The Design & Manufacture of Multi-coil Eddy Current Sensor and Characteristic Analysis", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, vol. 15, pp.65-69, 2001
- [8] J. Ding, S. Y. Cheung, C. W Tan, Pravin Varaiya, "Vehicle detection by sensor network nodes, California", *PATH Research Report*, UC Berkeley, 2004
- [9] L. Tong and Z. Li, "Study on the Road Traffic Survey System Based on Micro-ferromagnetic Induction Coil Sensor", *Sensors & Transducers*, vol. 170, pp.73-79, 2014

저자소개



이 상 오 (Lee, Sang-O)
2015년 2월 : 아주대학교 ITS대학원 석사
2008년 ~ 현재 : (주)티앤씨 대표이사
e-mail : myking245@hanmail.net
연락처 : 010-8599-9112



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)
1998년 2월 : 아주대학교 박사(교통공학 전공)
1991년 2월 : 아주대학교 석사(교통공학 전공)
2011년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수
e-mail : cklee@ajou.ac.kr
연락처 : 031-219-2536



윤 일 수 (Yun, Ilsoo)
2006년 1월 : University of Virginia 박사(교통공학 전공)
2004년 1월 : University of Virginia 석사(교통공학 전공)
2009년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수
e-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr
연락처 : 031-219-3610



김 남 선 (Kim, Nam-Sun)
2005년 아주대학교 교통공학 박사
2015년 1월 ~ 현재 : 아주대학교 교통·ITS대학원 겸임교수
2009년 12월 ~ 2014년 12월 : 경찰청 경찰대학 치안정책연구소 책임연구원
2007년 3월 ~ 2009년 12월 : 부천대학 경영과 전임강사
2006년 3월 ~ 2009년 12월 : 아주대학교 교통연구센터 전임연구원
e-mail : nsk@chol.com
연락처 : 010-4705-9880



이 용 주 (Lee, Yong-Ju)
2014년 아주대학교 박사 수료(교통공학 전공)
2006년 2월 : 아주대학교 석사(교통공학 전공)
2014년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 교통연구센터 전임연구원
2007년 5월 ~ 2012년 3월 : 화성시청 교통행정과 주무관
2006년 3월 ~ 2007년 4월 : 아주대학교 교통연구센터 전임연구원
e-mail : atfc4@ajou.ac.kr
연락처 : 010-4047-5961